

## JP7030437A SEQUENCE ESTIMATING DEVICE

### Bibliography

#### DWPI Title

Estimating data sequence transmitted using Viterbi algorithm e.g. for mobile communication system\ storing sampled values of incoming signal, deriving signal sequences, estimating channel responses, checking if responses are determinate and forming branch metrics w.r.t. estimated response and original sequence

#### Original Title

SEQUENCE ESTIMATING DEVICE

#### Assignee/Applicant

Standardized: NEC CORP

Original: NEC CORP

#### Inventor

ATOKAWA AKIHISA

#### Publication Date (Kind Code)

1995-01-31 (A)

#### Application Number / Date

JP1992109961A / 1992-04-28

#### Priority Number / Date / Country

JP1991128494A / 1991-04-30 / JP

JP1992109961A / 1992-04-28 / JP

### Abstract

**PURPOSE:** To attain a sequence estimating device capable of following up a high speed variation transmission line by small processing quantity or small device size.

**CONSTITUTION:** Non-degenerate states corresponding to respective degenerate states are stored in a non-degenerate state storing circuit 108 and a transmission line response calculating circuit 103 solves an equation determined by a transmission signal sequence candidate, a transmission line response and a received signal only for a transmission signal sequence corresponding to the stored non-degenerate states to obtain respective transmission line response estimated values. Branch metric values corresponding to respective sequences are calculated based upon the transmission line response estimated values and respective signal sequence candidates constituted based upon the stored contents of respective non-degenerate states, viterbi algorithm is driven based upon a degenerated state transition diagram and a maximum likelihood transmission signal sequence is estimated by a Viterbi processor 107.

(51) Int.Cl. <sup>5</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 3 M 13/12		8730-5 J		
H 0 4 L 25/08	B	9199-5 K		

審査請求 有 請求項の数 2 O L (全 23 頁)

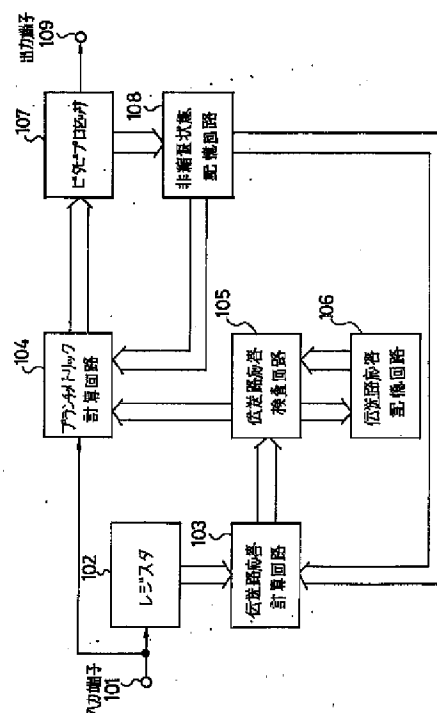
(21) 出願番号	特願平4-109961	(71) 出願人	000004237 日本電気株式会社 東京都港区芝五丁目7番1号
(22) 出願日	平成4年(1992)4月28日	(72) 発明者	後川 彰久 東京都港区芝五丁目7番1号日本電気株式 会社内
(31) 優先権主張番号	特願平3-128494	(74) 代理人	弁理士 京本 直樹 (外2名)
(32) 優先日	平3(1991)4月30日		
(33) 優先権主張国	日本 (J P)		

## (54) 【発明の名称】 系列推定装置

## (57) 【要約】

【目的】 少ない処理量あるいは小さな装置規模で高速変動伝送路に追従する系列推定装置を実現する。

【構成】 非縮退状態記憶回路108に各縮退状態に対応する非縮退状態を記憶し、記憶された非縮退状態に対応する送信信号系列系列に対してのみ伝送路応答計算回路103が該送信信号系列候補、伝送路応答、受信信号で定まる方程式を解き、伝送路応答推定値をそれぞれ得る。この伝送路応答推定値と非縮退状態の記憶を基に構成した各信号系列候補とから、それぞれの系列に対するブランチメトリックを計算し、縮退された状態遷移図を基にビタビアルゴリズムを動作させ、ビタビプロセッサ107により最尤送信信号系列を推定する。



#### 【特許請求の範囲】

【請求項1】 受信信号のサンプル値を複数個記憶するレジスタと、該レジスタから複数個の前記サンプル値を入力し、送信される可能性のあるM（2以上の整数）値信号系列から指定された複数の信号系列に対してのみ現時刻の伝送路応答をそれぞれ推定する伝送路応答計算回路と、該伝送路応答計算回路で求めた前記複数の信号系列に対する前記現時刻の伝送路応答の値の正当性を検査し、正当である場合は前記伝送路応答計算回路の出力を、正当でない場合は同じ信号系列に対する前時刻の伝送路応答推定値を、現時刻の伝送路応答推定値としてそれぞれ出力する伝送路応答検査回路と、該伝送路応答検査回路が出力する前記現時刻の伝送路応答推定値を記憶するとともに、前時刻に記憶した伝送路応答推定値を逆に前記伝送路応答検査回路に供給する伝送路応答記憶回路と、前記伝送路応答検査回路が出力した前記現時刻の伝送路応答推定値と各縮退状態に対応する非縮退状態と現時刻の送信信号候補との3者に基づいて前記複数の系列のそれぞれの系列に対する仮想受信信号点を求め、前記受信信号のサンプル値との距離を求めるブランチメトリック計算回路と、各時刻での前記各縮退状態に対応する非縮退状態を出力しながら前記ブランチメトリック計算回路の出力を受けてビタビアルゴリズムにより受信信号を判定するビタビプロセッサと、前記非縮退状態を記憶し、前記伝送路応答計算回路に対して伝送路応答を計算する前記複数の信号系列を指定する非縮退状態記憶回路と、から構成され、縮退された状態遷移図に基づいて送信信号系列の推定を行うことを特徴とする系列推定装置。

【請求項2】 受信信号のサンプル値を複数個記憶するレジスタと、該レジスタから複数個の前記サンプル値を入力し、送信される可能性のあるM（2以上の整数）値信号系列から指定された複数の信号系列に対してのみ現時刻の伝送路応答をそれぞれ推定する伝送路応答計算回路と、該伝送路応答計算回路で求めた複数の系列に対する前記現時刻の伝送路応答の値の正当性を検査し、正当である場合は前記伝送路応答計算回路の出力を、正当でない場合は同じ信号系列に対する前時刻の伝送路応答推定値を状態遷移図と非縮退状態の記憶とが定める規則に従って変換した値を、現時刻の伝送路応答推定値としてそれぞれ出力する伝送路応答変換回路と、該伝送路応答変換回路が出力する前記現時刻の伝送路応答推定値を記憶するとともに前時刻に記憶した伝送路応答推定値を逆に前記伝送路応答変換回路に供給する伝送路応答記憶回路と、前記伝送路応答変換回路が出力した前記現時刻の伝送路応答推定値と各縮退状態に対応する非縮退状態と現時刻の送信信号候補との3者に基づいて前記複数の系列のそれぞれの系列に対する仮想受信信号求め、前記受信信号のサンプル値との距離を求めるブランチメトリック計算回路と、各時刻での前記各縮退状態に対応する非

縮退状態を出力しながら前記ブランチメトリック計算回路の出力を受けてビタビアルゴリズムにより最尤系列を判定し最尤系列の最古状態に対応する非縮退状態の記憶に従い判定値を出力するビタビプロセッサと、前記非縮退状態を記憶する非縮退状態記憶回路と、該非縮退状態記憶回路が与える前記非縮退状態を変換し、変換された状態を基に前記伝送路応答計算回路に対して伝送路応答を計算する前記複数の信号系列を指定する状態変換回路と、から構成され、縮退された状態遷移図に基づいて送信信号系列の推定を行うことを特徴とする系列推定装置。

#### 【発明の詳細な説明】

##### 【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、伝送路特性の時間的な変動に追従して送信信号系列の推定を行う系列推定装置に関する。

##### 【0002】

【従来の技術】最尤系列推定装置（MLSE）は等化能力の最も優れた等化方式として知られている（例えば、文献1：G. D. Forney, "Maximum Likelihood Sequence Estimation in the presence of intersymbol interference," IEEE Transaction on Information Theory, vol. IT-18, no. 3, May 1972）。最尤系列推定装置は一般に単一の伝送路応答推定器を備えており、伝送路推定既知の系列を受信する際にこの伝送路応答推定器を用いて行う。

【0003】また、伝送路の特性が時間的に変動する場合には、この伝送路の特性の時間的な変動に追従させるような適応最尤系列推定装置も提案されている（例えば、文献2：G. Ungerboeck, "Adaptive Maximum Likelihood Receiver for Carrier-Modulated Data Transmission Systems," IEEE Transaction on Communications, vol. COM-22, no. 5, May 1974）。適応最尤系列推定装置は、まず既知系列を受信する際に伝送路応答を求め、それ以後情報データ系列を受信するときは伝送路推定器を適応アルゴリズムを用いて動作させ、伝送路応答を逐次更新していくことで伝送路特性の時間的な変動に追従していくことを特徴としている。しかし、適応最尤系列推定装置では、伝送路特性が高速変動にする場合その伝送路推定器の適応動作が追いつかなくなる。

【0004】これに対して、特願平2-203436では高速に変動する伝送路に対しても追従することが可能な新しい形の系列推定装置を提案している。この装置は、送信信号系列のみならず伝送路の特性も未知である

として、系列毎に対応する伝送路応答を推定してビタビアルゴリズムを適用することを特徴とする。伝送路応答の推定は、送信信号系列候補、伝送路応答、受信信号の三者で定まる伝送路方程式を系列毎に解くことによって行っている。これは伝送路応答の最適解を逐次求めることに相当するので、特願平2-203436の系列推定装置は高速な伝送路変動に対しても追従できる。以下、この装置を基本形ブラインドビタビ等化器、あるいは単に基本形と呼ぶことにする。

#### 【0005】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、基本形ブラインドビタビ等化器では、ビタビアルゴリズムを適用する状態遷移図（トレリス線図）の状態は伝送路応答計算に必要なシンボル数をその長さとする全ての送信信号系列候補により与えられるので、伝送路応答計算に必要なシンボル数が多い場合に状態数が大きくなり、系列推定装置を実現する回路が複雑になる、あるいはデジタルシグナルプロセッサ等を用いて実現する場合の処理量がきわめて多くなるという欠点がある。

【0006】そこで、本発明の目的は、より少ない状態数で、すなわち、より簡単な回路あるいはより少ない処理量で、高速に変動する伝送路に追従することが可能な系列推定装置を提供することにある。

#### 【0007】

【課題を解決するための手段】第1の発明の系列推定装置は、受信信号のサンプル値を複数個記憶するレジスタと、該レジスタから複数個の前記サンプル値を入力し、送信される可能性のあるM（2以上の整数）値信号系列から指定された複数の信号系列に対してのみ現時刻の伝送路応答をそれぞれ推定する伝送路応答計算回路と、該伝送路応答計算回路で求めた前記複数の信号系列に対する前記現時刻の伝送路応答の値の正当性を検査し、正当である場合は前記伝送路応答計算回路の出力を、正当でない場合は同じ信号系列に対する前時刻の伝送路応答推定値を、現時刻の伝送路応答推定値としてそれぞれ出力する伝送路応答検査回路と、該伝送路応答検査回路が出力する前記現時刻の伝送路応答推定値を記憶するとともに、前時刻に記憶した伝送路応答推定値を逆に前記伝送路応答検査回路に供給する伝送路応答記憶回路と、前記伝送路応答検査回路が出力した前記現時刻の伝送路応答推定値と各縮退状態に対応する非縮退状態と現時刻の送信信号候補との3者に基づいて前記複数の系列のそれぞれの系列に対する仮想受信信号点を求め、前記受信信号のサンプル値との距離を求めるブランチメトリック計算回路と、各時刻での前記各縮退状態に対応する非縮退状態を出力しながら前記ブランチメトリック計算回路の出力を受けてビタビアルゴリズムにより受信信号を判定するビタビプロセッサと、前記非縮退状態を記憶し、前記伝送路応答計算回路に対して伝送路応答を計算する前記複数の信号系列を指定する非縮退状態記憶回路と、から

構成され、縮退された状態遷移図に基づいて送信信号系列の推定を行うことを特徴とする。

【0008】第2の発明の系列推定装置は、受信信号のサンプル値を複数個記憶するレジスタと、該レジスタから複数個の前記サンプル値を入力し、送信される可能性のあるM（2以上の整数）値信号系列から指定された複数の信号系列に対してのみ現時刻の伝送路応答をそれぞれ推定する伝送路応答計算回路と、該伝送路応答計算回路で求めた複数の系列に対する前記現時刻の伝送路応答の値の正当性を検査し、正当である場合は前記伝送路応答計算回路の出力を、正当でない場合は同じ信号系列に対する前時刻の伝送路応答推定値を状態遷移図と非縮退状態の記憶とが定める規則に従って変換した値を、現時刻の伝送路応答推定値としてそれぞれ出力する伝送路応答変換回路と、該伝送路応答変換回路が出力する前記現時刻の伝送路応答推定値を記憶するとともに前時刻に記憶した伝送路応答推定値を逆に前記伝送路応答変換回路に供給する伝送路応答記憶回路と、前記伝送路応答変換回路が出力した前記現時刻の伝送路応答推定値と各縮退状態に対応する非縮退状態と現時刻の送信信号候補との3者に基づいて前記複数の系列のそれぞれの系列に対する仮想受信信号点を求め、前記受信信号のサンプル値との距離を求めるブランチメトリック計算回路と、各時刻での前記各縮退状態に対応する非縮退状態を出力しながら前記ブランチメトリック計算回路の出力を受けてビタビアルゴリズムにより最尤系列を判定し、最尤系列の最古状態に対応する非縮退状態の記憶に従い判定値を出力するビタビプロセッサと、前記非縮退状態を記憶する非縮退状態記憶回路と、該非縮退状態記憶回路が与える前記非縮退状態を変換し、変換された状態を基に前記伝送路応答計算回路に対して伝送路応答を計算する前記複数の信号系列を指定する状態変換回路と、から構成され、縮退された状態遷移図に基づいて送信信号系列の推定を行うことを特徴とする。

#### 【0009】

【作用】基本形ブラインドビタビ等化器では、ビタビアルゴリズムを適用する状態遷移図（図4に示されるトレリス線図）の各状態（これを基本形状態、あるいは非縮退状態と呼ぶ）は、伝送路応答計算に必要なシンボル数をその長さとする送信信号系列候補により与えられる。一方、本発明の系列推定装置では、トレリス線図の状態（これを縮退状態と呼ぶ）をシンボル数が伝送路応答計算に必要な数より少ない送信信号系列候補で与える。そして、各縮退状態に対しては毎時刻それぞれの生残りパスの履歴から過去のシンボルを補い、伝送路応答計算に必要な送信信号系列候補、すなわち該状態に対応する基本形状態を再現し、それを用いて伝送路推定を行うようにする。そのため、本発明では、状態数を基本形に比べて大幅に削減しながら、高速に変動する伝送路に追従することが可能な系列推定装置を実現できる。

【0010】

【実施例】以下、図面を参照して、まず、特願平2-203436に示される基本形ブラインドビタビ等化器を説明し、次に、それと比較する形で本発明を説明する。

【0011】基本形ブラインドビタビ等化器は、図3で示される。基本形は、時刻 $t$ での伝送路応答を送信される可能性のある複数の信号系列候補に対してそれぞれ最小二乗法により求め、それらを時刻 $(t+1)$ におけるランチメトリック計算において用いる。

【0012】以下では、時刻 $t$ での伝送路インパルス応

$$\mathbf{r}_t^T = [r_t, r_{t-1}, \dots, r_{t-N+1}] \quad (1)$$

時刻 $(t+1)$ では、ベクトル $\mathbf{r}_t$ の各成分が伝送路計算回路303に向けて出力される。

【0014】伝送路計算回路303は、ベクトル $\mathbf{r}_t$ を用いて送信される可能性のある複数の信号系列に対して時刻 $t$ での伝送路応答をそれぞれ最小二乗法により求める。いま、時刻 $t$ までに送信された信号を $L$ 時刻分まと

$$\mathbf{r}_t = \mathbf{S}_t^T \cdot \mathbf{h}_t + \mathbf{v}_t \quad (2)$$

以下、式(1)を時刻 $t$ での伝送路方程式と呼ぶ。伝送路方程式を時刻 $t-N+1$ から時刻 $t$ まで $N$ 個まとめる

$$\mathbf{r}_t = \mathbf{S}_t^T \cdot \mathbf{h}_t + \mathbf{v}_t \quad (3)$$

ここで、送信信号行列 $\mathbf{S}_t$ 、雑音ベクトル $\mathbf{v}_t$ は以下で定義する。

$$\mathbf{S}_t^T = \begin{bmatrix} \mathbf{s}_t & \mathbf{s}_{t-1} & \dots & \mathbf{s}_{t-L} \\ \mathbf{s}_{t-1} & \mathbf{s}_{t-2} & \dots & \mathbf{s}_{t-L-1} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \mathbf{s}_{t-N+1} & \mathbf{s}_{t-N} & \dots & \mathbf{s}_{t-L-N+1} \end{bmatrix} \quad (4)$$

【0018】

$$\mathbf{v}_t^T = [v_t, v_{t-1}, \dots, v_{t-N+1}] \quad (5)$$

伝送路特性計算回路303は、(条件) $N$ シンボル( $N \geq L+1$ )間での伝送路の変動は無視できる、すなわち、 $\mathbf{h}_t = \mathbf{h}_{t-1} = \mathbf{h}_{t-N+1}$ 。という条件のもとに、式(3)の $N$ 時刻分の伝送路方程式から伝送路インパルス応答ベクトル $\mathbf{h}_t$ を最小二乗推定する。具体的には、送信される可能性のある複数の信号系列、すなわち

$$\mathbf{h}_{t,1s} = (\mathbf{S}_t^T \cdot \mathbf{S}_t)^{-1} \cdot \mathbf{S}_t^T \cdot \mathbf{r}_t \quad (6)$$

特に、インパルス応答推定に用いる受信信号の数( $N$ )が伝送路応答の数( $L+1$ )に等しいときは送信信号行列 $\mathbf{S}_t$ が正方行列となるので、受信信号に単に送信信号

$$\mathbf{h}_{t,1s} = \mathbf{S}_t^{-1} \cdot \mathbf{r}_t \quad (7)$$

これら推定値を基に、ランチメトリック計算回路304は、送信信号の全ての組み合わせ( $\mathbf{s}_t, \mathbf{s}_{t-1}, \dots, \mathbf{s}_{t-L-N+1}$ )に対して式(8)に示す尤度(ブ

$$\begin{aligned} M_t(\mathbf{s}_t, \mathbf{s}_{t-1}, \dots, \mathbf{s}_{t-L-N+1} : \mathbf{s}_{t+1}) \\ = | \mathbf{r}_{t+1} - \mathbf{s}_{t+1}^T \cdot \mathbf{h}_{t,1s} |^2 \end{aligned} \quad (8)$$

そして、ビタビプロセッサ305は、この値の全時刻 $t$ に渡る和で定まる値(パストメトリック)を最小にする全時刻に渡る送信信号系列をビタビアルゴリズムにより求

答は $(L+1)$ シンボル分あるとし、これをベクトル $\mathbf{h}_t^T = [h_t^0, h_t^1, \dots, h_t^L]$ で表現する。受信信号 $\{\mathbf{r}_t\}$ は各時刻でレジスタ302に蓄えられていく。いま、時刻 $(t+1)$ の受信信号がレジスタ302に入力されたときに注目する。このとき、レジスタ302の遅延素子群には送信信号が $N$ 時刻分、すなわちベクトル $[\mathbf{r}_t \dots \mathbf{r}_{t-N+1}]$ の形で記憶されている。これを時刻 $t$ での受信信号ベクトル $\mathbf{r}_t$ とする。

【0013】

めた系列をベクトル $\mathbf{S}_t^T = [\mathbf{s}_t, \mathbf{s}_{t-1}, \dots, \mathbf{s}_{t-L}]$ 、送信信号とは独立な観測過程を含めた上での加法性伝送路雑音を $\mathbf{v}_t$ とすると、時刻 $t$ での受信信号 $\mathbf{r}_t$ は、式(1)で示されるようにベクトル $\mathbf{h}_t$ とベクトル $\mathbf{s}_t$ との畳込みと雑音の和で与えられる。

【0015】

と、式(3)のようにかける。

【0016】

【0017】

( $\mathbf{s}_t, \mathbf{s}_{t-1}, \dots, \mathbf{s}_{t-L-N+1}$ )で考えられる全ての信号系列に対してそれぞれ送信信号行列 $\mathbf{S}_t$ を構成し式(6)によりそれぞれ伝送路インパルス応答ベクトル $\mathbf{h}_{t,1s}$ を求める。

【0019】

行列 $\mathbf{S}_t$ の逆行列をかけることで最小二乗推定による伝送路応答推定値が得られる。

【0020】

ランチメトリック)を毎時刻計算する。

【0021】

【0022】簡単のため、2値信号、2波モデル( $L=1$ )において2個( $N=2$ )の受信信号より伝送路応答

を推定する場合を例にとると、基本形の動作は以下となる。伝送路応答はベクトル  $h_t^T = [h_t^0, h_t^1]$

$$\begin{bmatrix} r_t \\ r_{t-1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} s_t & s_{t-1} \\ s_{t-1} & s_{t-2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h_t^0 \\ h_t^1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} v_t \\ v_{t-1} \end{bmatrix} \quad (9)$$

【0024】基本形では、ビタビアルゴリズムを動作させるトレリス線図の状態は、送信信号行列  $S_t$  の成分に現れる3個の送信信号の組み合わせ、すなわち  $(s_t, s_{t-1}, s_{t-2})$  が定めている。2値の送信信号を  $\{1, -1\}$  とし、それらを便宜上それぞれ  $\{1, 0\}$  で表現することになると、送信される可能性のある信号系列候補  $(s_t, s_{t-1}, s_{t-2})$  は、 $(000)$ 、 $(001)$ 、 $(010)$ 、 $(011)$ 、 $(100)$ 、 $(101)$ 、 $(110)$ 、 $(111)$ 、の8通りとなる。したがって、基本形の状態数は8となり、その状態遷移図は図4のように書くことができる。図4では、各状態を表す楕円内の記号の組は慣例に従い、時刻の古い順に  $s_{t+2}, s_{t+1}, s_t$  を記号表現しており、例えば状態  $(110)$  は、 $s_{t+2} = 1$ 、 $s_{t+1} = 1$ 、 $s_t = 0$  を表している。また、図4において、各状態を結ぶ線は状態遷移を表し、状態遷移にともなって送られる信号候補（以下、遷移信号と呼ぶ）は、状態遷移の右側に置かれた状態（これを遷移先状態といい、状態遷移の左側に置かれた状態を遷移元状態という）の最下位桁（一番右の桁）に現れている。

$$\begin{array}{l} M_t \{0, 0, 0 : 0\} = | r_{t+1} - [0, 0]^T h_{t,1s} \{0, 0, 0\} |^2 \\ M_t \{0, 0, 0 : 1\} = | r_{t+1} - [1, 0]^T h_{t,1s} \{0, 0, 0\} |^2 \\ M_t \{0, 0, 1 : 0\} = | r_{t+1} - [0, 1]^T h_{t,1s} \{0, 0, 1\} |^2 \\ M_t \{0, 0, 1 : 1\} = | r_{t+1} - [1, 1]^T h_{t,1s} \{0, 0, 1\} |^2 \\ M_t \{0, 1, 0 : 0\} = | r_{t+1} - [0, 0]^T h_{t,1s} \{0, 1, 0\} |^2 \\ M_t \{0, 1, 0 : 1\} = | r_{t+1} - [1, 0]^T h_{t,1s} \{0, 1, 0\} |^2 \\ M_t \{0, 1, 1 : 0\} = | r_{t+1} - [0, 1]^T h_{t,1s} \{0, 1, 1\} |^2 \\ M_t \{0, 1, 1 : 1\} = | r_{t+1} - [1, 1]^T h_{t,1s} \{0, 1, 1\} |^2 \\ M_t \{1, 0, 0 : 0\} = | r_{t+1} - [0, 0]^T h_{t,1s} \{1, 0, 0\} |^2 \\ M_t \{1, 0, 0 : 1\} = | r_{t+1} - [1, 0]^T h_{t,1s} \{1, 0, 0\} |^2 \\ M_t \{1, 0, 1 : 0\} = | r_{t+1} - [0, 1]^T h_{t,1s} \{1, 0, 1\} |^2 \\ M_t \{1, 0, 1 : 1\} = | r_{t+1} - [1, 1]^T h_{t,1s} \{1, 0, 1\} |^2 \\ M_t \{1, 1, 0 : 0\} = | r_{t+1} - [0, 0]^T h_{t,1s} \{1, 1, 0\} |^2 \\ M_t \{1, 1, 0 : 1\} = | r_{t+1} - [1, 0]^T h_{t,1s} \{1, 1, 0\} |^2 \\ M_t \{1, 1, 1 : 0\} = | r_{t+1} - [0, 1]^T h_{t,1s} \{1, 1, 1\} |^2 \\ M_t \{1, 1, 1 : 1\} = | r_{t+1} - [1, 1]^T h_{t,1s} \{1, 1, 1\} |^2 \end{array}$$

【0028】ここで、 $M_t (s_{t-2}, s_{t-1}, s_t : s_{t+1})$  は、 $s_t, s_{t-1}, s_{t-2}$  と  $s_{t+1}$  をそれぞれ0、1のいずれかの値としたときブランチメトリック値である。これらは、図7に示す各状態遷移、7a～7pに対応しており、その対応関係は図12に詳細に示されている。これらのブランチメトリック  $\{M_t (s_{t-2}, s_{t-1}, s_t : s_{t+1})\}$  はビタビプロセッサ305に出力され、ビタビプロセッサ305はメトリック最小のパスを選択することにより最尤

と書き、2時刻分の伝送路方程式は式(9)で書ける。

【0023】

【0025】伝送路特性計算回路303は、それぞれに対して伝送路応答ベクトル  $h_t^T = [h_t^0, h_t^1]$  の最小二乗解を求め、それをベクトル  $h_{t,1s} (0, 0, 0)$ 、ベクトル  $h_{t,1s} (0, 0, 1)$ 、ベクトル  $h_{t,1s} (0, 1, 0)$ 、ベクトル  $h_{t,1s} (0, 1, 1)$ 、ベクトル  $h_{t,1s} (1, 0, 0)$ 、ベクトル  $h_{t,1s} (1, 0, 1)$ 、ベクトル  $h_{t,1s} (1, 1, 0)$ 、ベクトル  $h_{t,1s} (1, 1, 1)$  とする。ベクトル  $h_{t,1s} (s_{t-2}, s_{t-1}, s_t)$  は、 $s_{t-2}, s_{t-1}, s_t$  をそれぞれ0、1のいずれかの値としたときの伝送路応答ベクトル  $h_t^T = [h_t^0, h_t^1]$  を示す。

【0026】ブランチメトリック計算回路304は、伝送路特性計算回路303で求められたベクトル  $h_{t,1s} (s_{t-2}, s_{t-1}, s_t)$  と、時刻  $(t+1)$  での受信信号  $r_{t+1}$  から、以下の16通りのブランチメトリックを求める。

【0027】

受信を行って、端子306から受信信号を主力する。このビタビプロセッサ305の動作は、前述した文献1、2に記述されているものと全く同一のものであるから、その詳細な説明は省略する。

【0029】なお、ここではメトリックを式(10)式に示すように二乗誤差を求めるとしたが、通常最尤推定に用いられるように式(10)を展開し、文献1、2に記述されているマッチドフィルタを用いた形式とし、さらに同時刻のすべてのブランチメトリックに共通

な  $r_{t+1}^2$  の項を省略したり、あるいは式 (10) の符号を変えて最大メトリックを求めるようにしても同様の効果が得られることは明らかである。

【0030】さて、基本形では、送信信号が2値信号、伝送路が2波モデルで、観測する受信信号が2個の場合でも上記のように8状態を要した。しかし、この状態数は本発明を用いれば、4状態、さらには2状態にも削減することができる。具体的には、本発明では、ビタビアルゴリズムを動作させるトレリス線図の状態を、送信信号行列  $S_t$  の成分に現れる3個の送信信号の組み合わせ  $(s_{t-2} s_{t-1} s_t)$  でなく、それを1回縮退させ、2個の送信信号の組み合わせ  $(s_{t-1}^1 s_t^1)$  により、あるいは2回縮退させ、1個の送信信号  $(s_t^2)$  により各状態を表すようにする。以下、基本形の状態を縮退系の状態と特に区別する意味で、 $(s_{t-2} s_{t-1} s_t)$  を  $(s_{t-2}^0 s_{t-1}^0 s_t^0)$  とも書くことにする。

【0031】状態の縮退方法は次の2通りの方法がある。

1) 単純縮退：単純縮退は、状態の記号表現の下位桁の共通性により状態を縮退させていく方法である。図4の基本形状態の記号表現の上位桁を1桁ずつ消去していくことで実現される。k回縮退すれば、状態の記号表現はk桁減少する。見方を変えれば、基本形状態を構成する送信信号候補から複数の最近の送信信号候補を取り出し、それを縮退状態とする方法である。例えば、基本形状態 (110) に対する縮退状態は、1回の縮退 (これを1次縮退と呼ぶ) では  $(110) \rightarrow (10)$ 、2回の縮退 (これを2次縮退と呼ぶ) では  $(10) \rightarrow (0)$  で与えられる。逆に、1次縮退状態 (00) は基本形状態の (000) と (100) の2つに、2次縮退状態 (0) は4つの基本形状態 (000)、(100)、(010)、(110) に対応する可能性がある。しかし、各縮退状態は時刻を指定すれば対応する基本形状態の内の1つにしか対応しない。

【0032】図5に、単純縮退1回により図4のトレリス線図を縮退した場合のトレリス線図を示す。図5では、各縮退状態を表す楕円内の記号の組は慣例に従い時刻の古い順に  $(s_{t-1} s_t)$  を記号表現しており、例えば状態 (10) は、 $s_{t-1}=1$ 、 $s_t=0$  を表している。また、各縮退状態の楕円内の括弧内で示されているのは対応する2つの基本形状態である。また、図5のトレリス線図内の状態遷移と図4の基本形トレリス線図内の状態遷移との対応関係は、図10に示される。

【0033】また、単純縮退状態間の遷移信号は対応する基本形状態によらず同一であるので、縮退した状態を記憶しておけば、遷移信号を特定できる。例えば、1次縮退状態 (00) から (00) への遷移は、遷移元状態に対応する基本形状態が (000)、(100) に関わらず0である。

2) 回転縮退：基本形状態を表す信号系列  $(s_{t-2}^0 s_{t-1}^0 s_t^0)$  内での位相回転が同じものどうしを同一の縮退状態に対応させる方法もある。回転縮退の縮退状態は漸化的に与えられる。

【0034】1次縮退： $(s_{t-1}^1 s_t^1) = (s_{t-2}^0 + s_{t-1}^0 s_{t-2}^0 + s_t^0)$   
ただし、加算はM値信号の場合、mod Mの和。

【0035】また、 $s_{t-2}^0 + s_{t-2}^0 = 0$   
(mod M)

2次縮退： $(s_t^2) = (s_{t-1}^1 + s_t^1)$   
ただし、加算はM値信号の場合、mod Mの和。

【0036】また、 $s_{t-1}^1 + s_{t-1}^1 = 0$   
(mod M)

例えば、基本形状態 (110) に対する回転縮退状態は、1次縮退では  $(110) \rightarrow (01)$  に、2次縮退では  $(01) \rightarrow (1)$  で与えられる。逆に、1次縮退状態 (00) は基本形状態の (000) と (111) の2つに、2次縮退状態 (0) は4つの基本形状態 (000)、(111)、(011)、(100) に対応する可能性がある。しかし、各縮退状態は時刻を指定すれば対応する基本形状態の内の1つにしか対応しない。図6に、回転縮退により図4のトレリス線図を縮退した場合のトレリス線図を示す。回転縮退状態間の遷移シンボルは対応する基本形状態間の遷移シンボルにより決まるので、回転縮退状態だけでは一意には決まない。例えば、1次縮退状態 (00) から (00) への遷移は、遷移元状態に対応する基本形状態が (000) の場合は0であるが、(111) の場合は1である。そのため、遷移信号の特定は各縮退状態に対して記憶する基本形状態から行う。

【0037】縮退したトレリス線図は状態数が少ないので、トレリス線図全体での遷移の数も少ない。このトレリス線図を基にビタビアルゴリズムを動作させれば、ビタビプロセッサの処理量を指数関数的に減少させることができる。

【0038】一方、系列推定装置に高速追従性を可能とさせる伝送路応答計算は、縮退されたトレリス線図上では次のように行う。まず、ビタビアルゴリズムにおいて、生き残り系列の履歴から各時刻の各縮退状態が実際にどのような基本形状態と対応しているかを記憶するようにする。そして、伝送路応答計算は、この基本形状態に対応する送信信号の組合せ  $(s_t, s_{t-1}, \dots, s_{t-L-N+1})$  に対して伝送路方程式を解き、得られた伝送路応答を当該縮退状態に対する伝送路応答推定値としてブランチメトリック計算に用いるようにする。時刻  $(t+1)$  のブランチメトリック計算において、仮想受信信号点を求めるための送信信号系列候補は、時刻  $t$  の縮退状態に対応する非縮退状態に関する送信信号信号から最古信号を除いた系列  $(s_t, s_{t-1}, \dots, s_{t-L-N})$  と時刻  $(t+1)$  の新たな送信信号候補との

組み合わせにより与えられる。すなわち、先に求めた伝送路応答推定値と  $(s_{t+1}, s_t, \dots, s_{t-L-N})$  とから仮想受信信号点を求め、これと実際の受信信号との距離を計算しブランチメトリックとする。この伝送路応答計算とブランチメトリック計算とが、縮退されたトレリス線図を基に動作させる本発明の系列推定装置においても直接解による毎時刻の伝送路推定を可能としている。また、本発明においては、伝送路応答計算は基本形状態の全てに対してではなく、縮退された状態の数だけ行えばよく、伝送路応答推定に関わる計算量も指数関数的に減少することになるという利点がある。

【0039】以上により、基本形ブラインドビタビ等化器に比べより少ない処理量、記憶量で、基本形と同様の伝送路推定機能を有する系列推定装置が実現できる。

【0040】図1に第1の発明に係る系列推定装置の一実施例を示す。図1の系列推定装置は、図5に示す単純縮退されたトレリス線図を基にビタビアルゴリズムを動作させる。

【0041】入力端子101に供給された時刻  $t$  での受信器入力  $r_t$  は、レジスタ102に記憶されるとともにブランチメトリック計算回路104に送られる。レジスタ102に記憶された時刻  $t-N+1$  から時刻  $t$  まで  $N$  個の受信信号信号は伝送路応答計算回路103に入力される。伝送路応答計算回路103は、各時刻で図5の各縮退状態に対応する基本形状態に対してのみ式(6)あるいは式(7)にしたがってベクトル  $h_{t,1s}$  を計算する。例えば、図8のように、時刻  $t$  での(00)、

(01)、(10)、(11)の各縮退状態に対応する基本形状態がそれぞれ(100)、(101)、(010)、(011)（下線が引かれた基本形状態）とすると、この4つの信号系列に対してのみに伝送路応答計算を実施する。これに対して図3の従来の系列推定装置では、(000)から(111)の8つの信号系列（全ての基本形状態）に対して計算を実行している。

【0042】行列  $S_t^T S_t$  あるいは行列  $S_t$  が特異となる送信信号の組み合わせに対しては、伝送路応答計算回路103はあらかじめ定めた値（例えば0）を出力し、ベクトル  $h_{t,1s}$  が不定である旨を伝送路応答検査回路105に伝える。ここでは、各状態に対して不定でない場合に得られる伝送路応答推定値を正当な推定値と呼ぶ。伝送路応答検査回路105は、伝送路応答計算回路103が計算した個々の伝送路応答ベクトル  $h_{t,1s}$  が不定であるか否かを調べる。不定である状態に対しては当該状態に遷移している生き残り系列が前時刻の状態において採用した伝送路応答推定値を持って現時刻の伝送路応答推定値に代える。例えば、時刻  $t$  での縮退状態(01)に対応する基本形状態が(101)のとき、信号行列  $S_t^T S_t$  あるいは行列  $S_t$  は特異となる。このとき、時刻  $t$  の縮退状態(01)に対する伝送

路応答推定値としては、当該縮退状態(01)に遷移している生き残りパスの前時刻( $t-1$ )での縮退状態(10)（なぜなら、時刻  $t$  の基本形状態の記憶値が(101)であるから、時刻( $t-1$ )での縮退状態が(10)であることが分かる）が採用した伝送路応答推定値で代替する。この前時刻の伝送路応答推定値を伝送路応答記憶回路106が供給する。一方、不定でない場合は、伝送路応答計算回路103で計算した現時刻の伝送路応答をそのまま用いるようにする。こうして得られた現時刻の伝送路応答推定値は、その値を持つ基本形状態とともに伝送路応答記憶回路106に記憶される。

【0043】縮退状態に対して求めた現時刻の伝送路応答推定値ベクトル  $h_t$  は、ブランチメトリック計算回路104に供給される。ブランチメトリック計算回路104は、伝送路応答検査回路105が与える現時刻の伝送路応答推定値ベクトル  $h_t$  を基に、縮退状態からの全ての遷移に対して式(8)で定まるブランチメトリックを個別に計算する。ここで、時刻( $t+1$ )のブランチメトリック計算において、仮想受信信号点を求めるための送信信号系列候補は、時刻  $t$  の縮退状態に対応する基本形状態に関する送信信号信号から最古信号を除いた系列  $(s_t, s_{t-1}, \dots, s_{t-L-N})$  と時刻( $t+1$ )の新たな送信信号候補との組み合わせにより与えられる。すなわち、先に求めた伝送路応答推定値と  $(s_{t+1}, s_t, \dots, s_{t-L-N})$  とから仮想受信信号点を求め、これと実際の受信信号との距離を計算しブランチメトリックとする。時刻  $t$  の縮退状態を(01)のときは、最新信号1と時刻( $t+1$ )の新たな送信信号候補0または1との組み合わせ、すなわち系列10または系列11に対して仮想受信点を求める。

【0044】ブランチメトリック計算回路104は図13に示される遷移に対して計算したブランチメトリック値8通りをビタビプロセッサ107に出力する。ビタビプロセッサ107は、ビタビアルゴリズムにより式

(8)のメトリックの全ての時刻の和が最小となる系列を探し、判定出力を出力端子109に出力する。ビタビプロセッサ107は、同時に、各時刻での縮退状態に対応する基本形状態を生残りパスの履歴より調べ、それを非縮退状態記憶回路108に出力する。例えば、時刻( $t+1$ )の縮退状態(11)が前出の時刻  $t$  の縮退状態(01)から遷移した場合、縮退状態(11)に対する基本形状態は(011)となり、この値が縮退状態(11)の非縮退状態として非縮退状態記憶回路108に登録される。そして、この基本形状態の記憶値は、時刻( $t+1$ )の伝送路応答計算と時刻( $t+2$ )のブランチメトリック計算とに利用される。ビタビプロセッサ107の動作は縮退されたトレリス線図を基にしていることを除いて文献1、2の系列推定装置と同様であるので、詳細は省略する。

【0045】図2に第2の発明に係る系列推定装置の一

実施例を示す。2 値信号、2 波モデル ( $L=1$ ) において 2 個 ( $N=2$ ) の受信信号より伝送路応答を推定する場合の例では、図 2 の系列推定装置は、図 6 に示す縮退されたトレリス線図を基にビタビアルゴリズムを動作させる。縮退方法は異なるが、ビタビアルゴリズムを縮退状態に基づくトレリス線図に対して動作させることは第 1 の発明と共通である。

【0046】入力端子 201 に供給された時刻  $t$  での受信器入力  $r_t$  は、レジスタ 202 に記憶されるとともにブランチメトリック計算回路 204 に送られる。レジスタ 202 に記憶された時刻  $t-N+1$  から時刻  $t$  まで  $N$  個の受信信号信号は伝送路応答計算回路 203 に入力される。伝送路応答計算回路 203 は、図 1 の伝送路応答計算回路 103 と異なり、あらかじめ定められた 1 次縮退状態に対応する基本形状態に対してのみ式 (6) あるいは式 (7) にしたがってベクトル  $h_{t, 1s}$  を計算する。例えば、図 9 のように、時刻  $t$  での (00)、(01)、(10)、(11) の各縮退状態に対応する基本形状態がそれぞれ (111)、(001)、(101)、(100) (下線が引かれた基本形状態) であっても、(000)、(001)、(010)、(011) というあらかじめ定めた 4 つの信号系列に対してのみに伝送路応答計算を実施すればよい。

【0047】これは、以下の理由による。例えば、図 6 において、非縮退状態の (000) と (111) は縮退状態 (00) を共有するが、(000) を用いて計算して得られる伝送路応答ベクトル  $h_{t, 1s}$  (000) と (111) を用いて計算して得られる伝送路応答ベクトル  $h_{t, 1s}$  (111) とは 180 度回転したものとなる。(00) からの (01) への遷移において、遷移信号は基本形状態が (000) のときは 1、(111) のときは 0 であるから、180 度回転した伝送路応答推定値との間で仮想受信信号点を求めると全く同一の値となる。そのため、同じメトリックを計算することになる。

【0048】したがって、回転縮退状態では、伝送路応答計算のためには各 1 次縮退状態に対してどれか一つの基本形状態に対する伝送路応答を固定的に (00) に対しては (000) などというように求めておけばよい。この変換規則例としては、図 16、17 がある。状態変換回路 209 は、あらかじめ定めた変換規則に従い、基本形状態を同じ 1 次縮退状態を有する基本形状態に変換する回路であり、伝送路応答計算回路 203 はこれらあらかじめ定められた基本形状態に対してのみ伝送路応答を計算すればよい。

【0049】行列  $S_t^T S_t$  あるいは行列  $S_t$  が特異となる送信信号の組み合わせに対しては、伝送路応答計算回路 203 はあらかじめ定めた値 (例えば 0) を出力し、ベクトル  $h_{t, 1s}$  が不定である旨を伝送路応答変換回路 205 に伝える。伝送路応答変換回路 205 は、伝送路応答計算回路 203 が計算した個々の伝送路応答

ベクトル  $h_{t, 1s}$  が不定であるか否かを調べる。不定でない場合は、伝送路応答計算回路 203 で計算した現時刻の伝送路応答をそのまま用いるようにする。一方、伝送路応答計算回路 203 の出力が不当 (特異) の場合の処理は伝送路応答検査回路 105 と異なる。不定である状態に対しては、当該状態に遷移している生き残り系列が前時刻の状態において採用した伝送路応答推定値を基に現時刻の伝送路応答推定値を計算する。例えば、図 9 において、時刻  $t$  での縮退状態 (00) に対応する基本形状態がもし (000) のとき、信号行列  $S_t^T S_t$  あるいは行列  $S_t$  は特異となる。図 16 の変換規則に従うとすると、時刻  $t$  の縮退状態 (00) に対する伝送路応答推定値としては基本形状態 (000) に対する応答を計算する必要がある。また、当該縮退状態 (00) に遷移する生き残りパスの前時刻  $t-1$  での縮退状態が (11) であったとすると、伝送路応答記憶回路 206 が記憶している伝送路応答は基本形状態 (011) に対する値である。ここで、基本形状態 (011) から基本形状態 (000) には遷移は存在せず、存在するのは基本形状態 (011) から基本形状態 (111) である。基本形状態 (111) は基本形状態 (011) の応答をそのまま継承してもよい。基本形状態 (000) の伝送路応答は基本形状態 (111) の伝送路応答を 180 度回転したものであるから、基本形状態 (000) に対する応答としては、前時刻の基本形状態 (011) に対する値を 180 度回転させる必要がある。このように、回転縮退では、特異時に、遷移に応じて前時刻伝送路応答を回転させた値を用いる必要がある。こうして得られた現時刻の伝送路応答推定値は、伝送路応答記憶回路 206 に記憶される。

【0050】縮退状態に対して求めた現時刻の伝送路応答推定値ベクトル  $h_{t, 1s}'$  は、ブランチメトリック計算回路 204 に供給される。ブランチメトリック計算回路 204 は、伝送路応答変換回路 205 が与える現時刻の伝送路応答推定値ベクトル  $h_{t, 1s}'$  を基に、縮退状態からの全ての遷移に対して式 (8) で定まるブランチメトリックを個別に計算する。ここで、時刻  $(t+1)$  のブランチメトリック計算において、仮想受信信号点を求めるための送信信号系列候補は、時刻  $t$  の縮退状態に対応する基本形状態に関する送信信号信号から最古信号を除いた系列 ( $s_t, s_{t-1}, \dots, s_{t-L-N}$ ) と時刻  $(t+1)$  の新たな送信信号候補との組み合わせにより与えられる。すなわち、先に求めた伝送路応答推定値と ( $s_{t+1}, s_t, \dots, s_{t-L-N}$ ) とから仮想受信信号点を求め、これと実際の受信信号との距離を計算しブランチメトリックとする。時刻  $t$  の縮退状態を (10) に対しては、最新信号 0 と時刻  $(t+1)$  の新たな送信信号候補 0 または 1 との組み合わせ、すなわち系列 00 または 01 に対して仮想受信点を求める。

【0051】ブランチメトリック計算回路 204 は図 1

4に示される遷移に対して計算したブランチメトリック値8通りをビタビプロセッサ207に出力する。ビタビプロセッサ207は、ビタビアルゴリズムにより式

(8)のメトリックの全ての時刻の和が最小となる系列を探し、判定出力を出力端子210に出力する。

【0052】回転縮退状態では、縮退状態間の遷移シンボルは基本形状状態間の遷移シンボルに依存して決まる。遷移信号の特定は、まずメトリックの全ての時刻の和が最小となる系列に対して現時刻よりある特定時間だけ遡った時刻の縮退状態を調べ、次に、その過去の縮退状態に対応する非縮退状態を非縮退状態記憶回路208から検索し、最後にその非縮退状態が有する遷移信号値を出力端子210に出力することにより行う。

【0053】ビタビプロセッサ207は、同時に、各時刻での縮退状態に対応する基本形状状態を生残りパスの履歴より調べ、それを非縮退状態記憶回路208に出力する。例えば、時刻(t+1)の縮退状態(11)が前出の時刻tの縮退状態(01)から遷移した場合、縮退状態(11)に対する基本形状状態は(011)となり、この値が縮退状態(11)の非縮退状態として非縮退状態記憶回路208に登録される。この基本形状状態の記憶値は、時刻(t+1)の伝送路応答変換と時刻(t+2)のブランチメトリック計算とに利用される。ビタビプロセッサ207の動作は縮退されたトレリス線図を基にしていることを除いて文献1、2の系列推定装置と同様であるので、詳細は省略する。

【0054】以上の実施例では、送信信号が2値、2レベルの場合の例について述べたが、2値以外の多値信号の場合、3波以上の複数の応答がある場合にも本発明の系列推定装置が有効であることも明らかである。また、以上の実施例では、基となる状態遷移図を1回縮退した状態遷移図の例を説明したが、本発明の系列推定装置を基となる状態遷移図を2回以上縮退した状態遷移図に基づいて動作させることも可能である。

【0055】

【発明の効果】以上に詳しく述べたように、本発明は、状態の縮退を利用することにより状態数を削減した遷移図上でビタビアルゴリズムを動作させることを可能とする。したがって、従来方式より少ない記憶量と処理量、あるいは小さな装置規模で、高速に変動する伝送路に追従する系列推定装置を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】第1の発明に係る系列推定装置の一実施例を示

すブロック図

【図2】第2の発明に係る系列推定装置の一実施例を示すブロック図

【図3】従来の系列推定装置を示すブロック図

【図4】縮退を行う前の基本となる状態遷移図の例

【図5】第1の発明の系列推定装置の動作の基となる縮退された状態遷移図の例

【図6】第2の発明の系列推定装置の動作の基となる縮退された状態遷移図の例

【図7】従来の系列推定装置のブランチメトリック計算を説明するためのトレリス線図

【図8】第1の発明の系列推定装置のブランチメトリック計算を説明するためのトレリス線図

【図9】第2の発明の系列推定装置のブランチメトリック計算を説明するためのトレリス線図

【図10】1次単純縮退の状態変換表

【図11】1次回転縮退の状態変換表

【図12】従来の系列推定装置のブランチメトリック計算を説明するための表

【図13】第1の発明の系列推定装置のブランチメトリック計算を説明するための表

【図14】第2の発明の系列推定装置のブランチメトリック計算を説明するための表

【図15】第2の発明の系列推定装置のブランチメトリック計算を説明するための表

【図16】状態変換回路209の変換規則を説明するための表である。

【図17】状態変換回路209の変換規則を説明するための表である。

【符号の説明】

101、201、301 入力端子

102、202、302 レジスタ

103、203、303 伝送路応答計算回路

105、106 マトリクススイッチ

104、204、304 ブランチメトリック計算回路

105 伝送路応答検査回路

205 伝送路応答変換回路

106、206 伝送路応答記憶回路

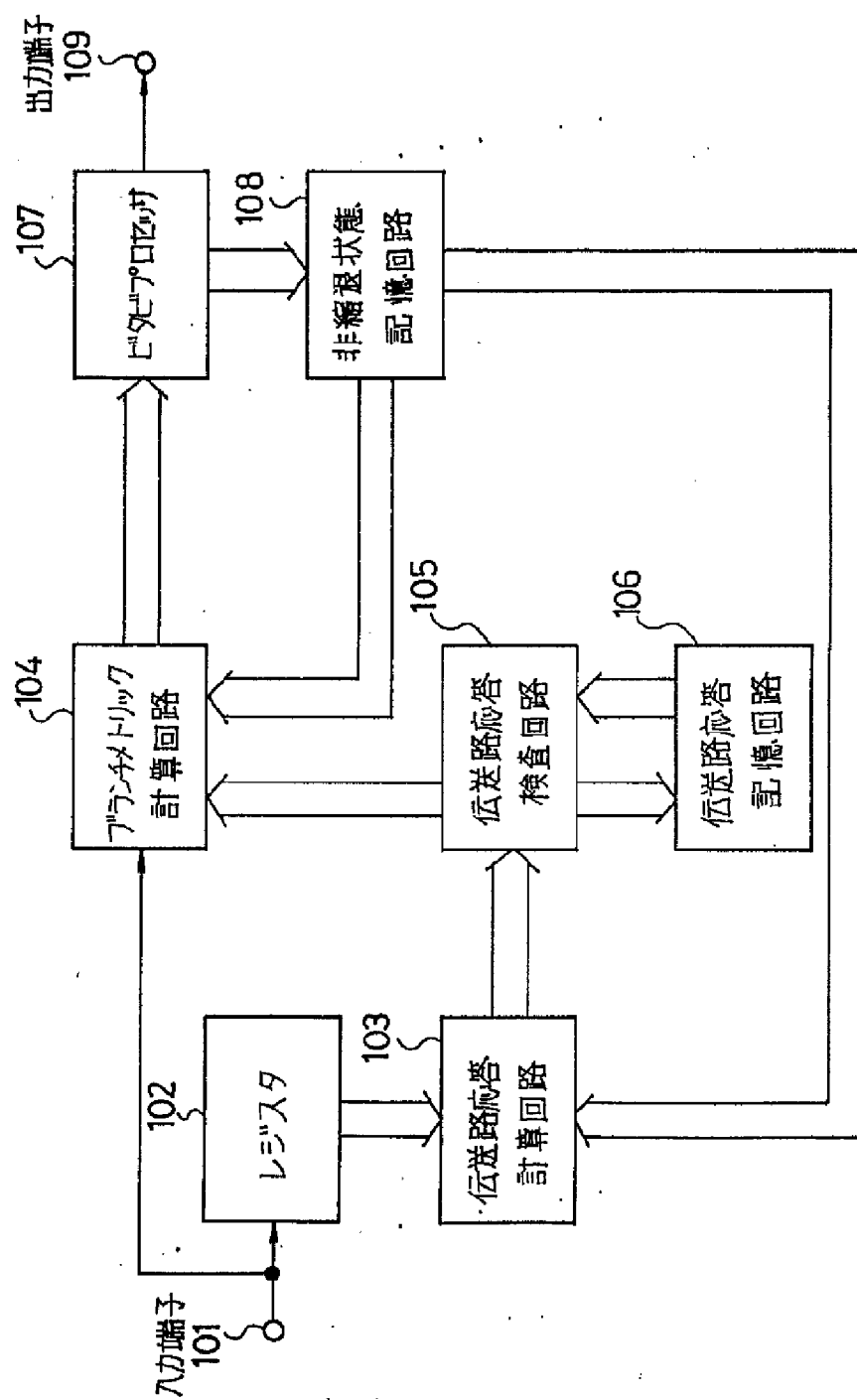
107、207、305 ビタビプロセッサ

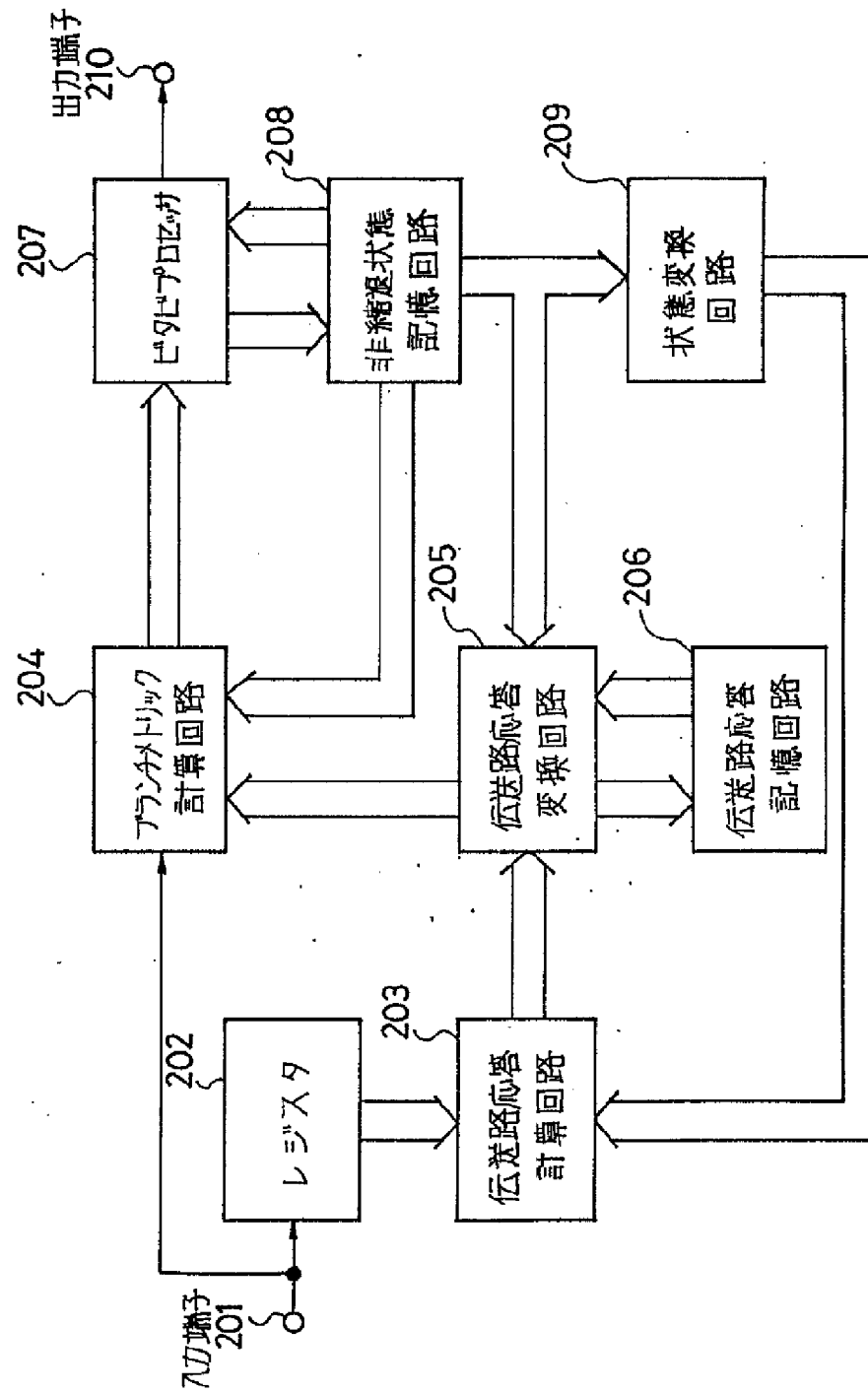
108、208 非縮退状態記憶回路

209 状態変換回路

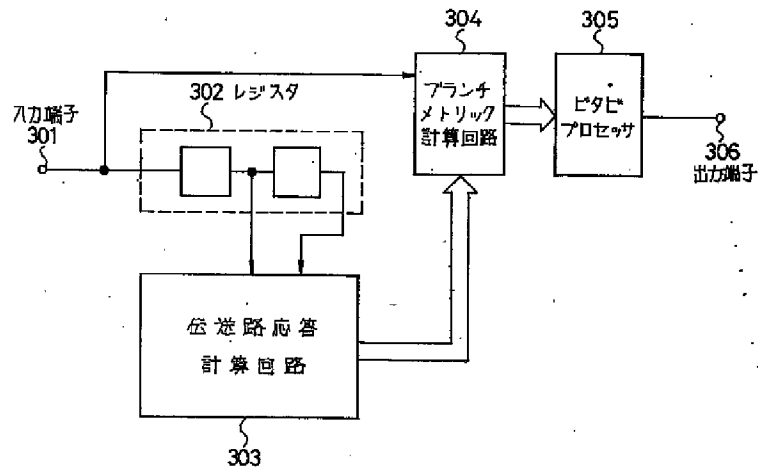
109、210、306 出力端子

【図1】

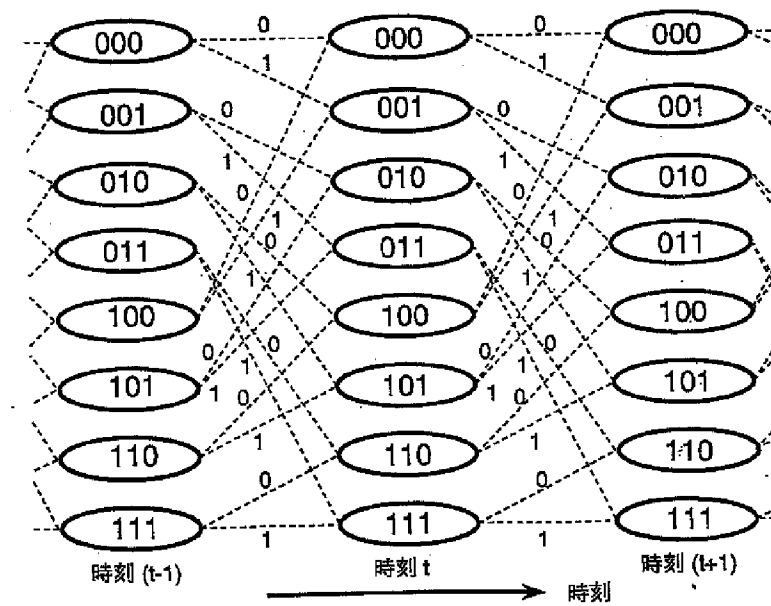




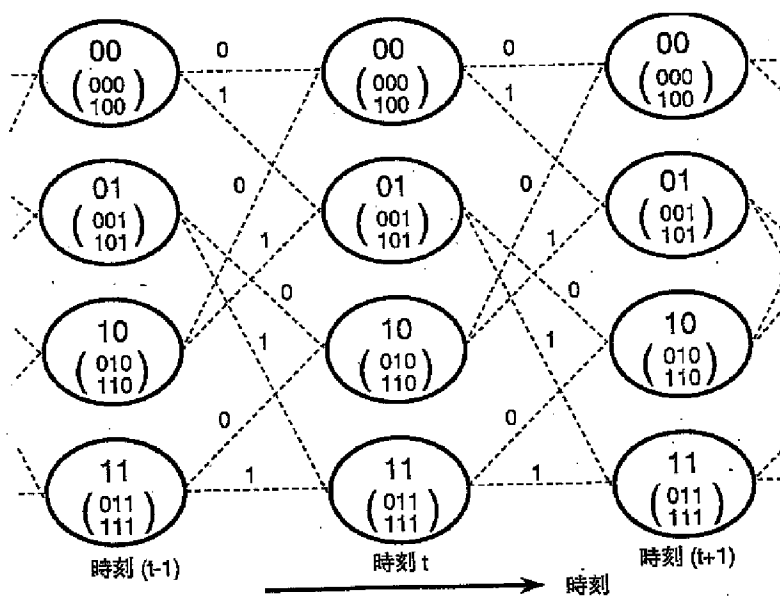
【図 3】



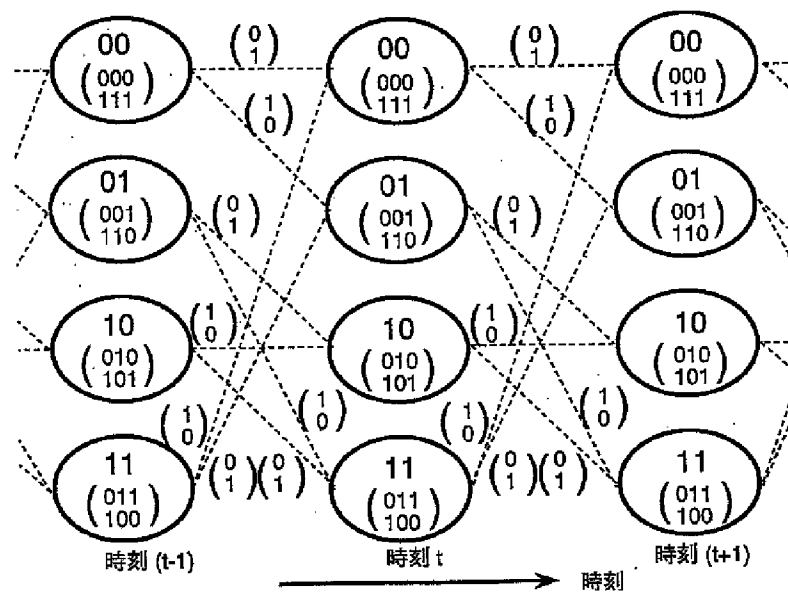
【図 4】



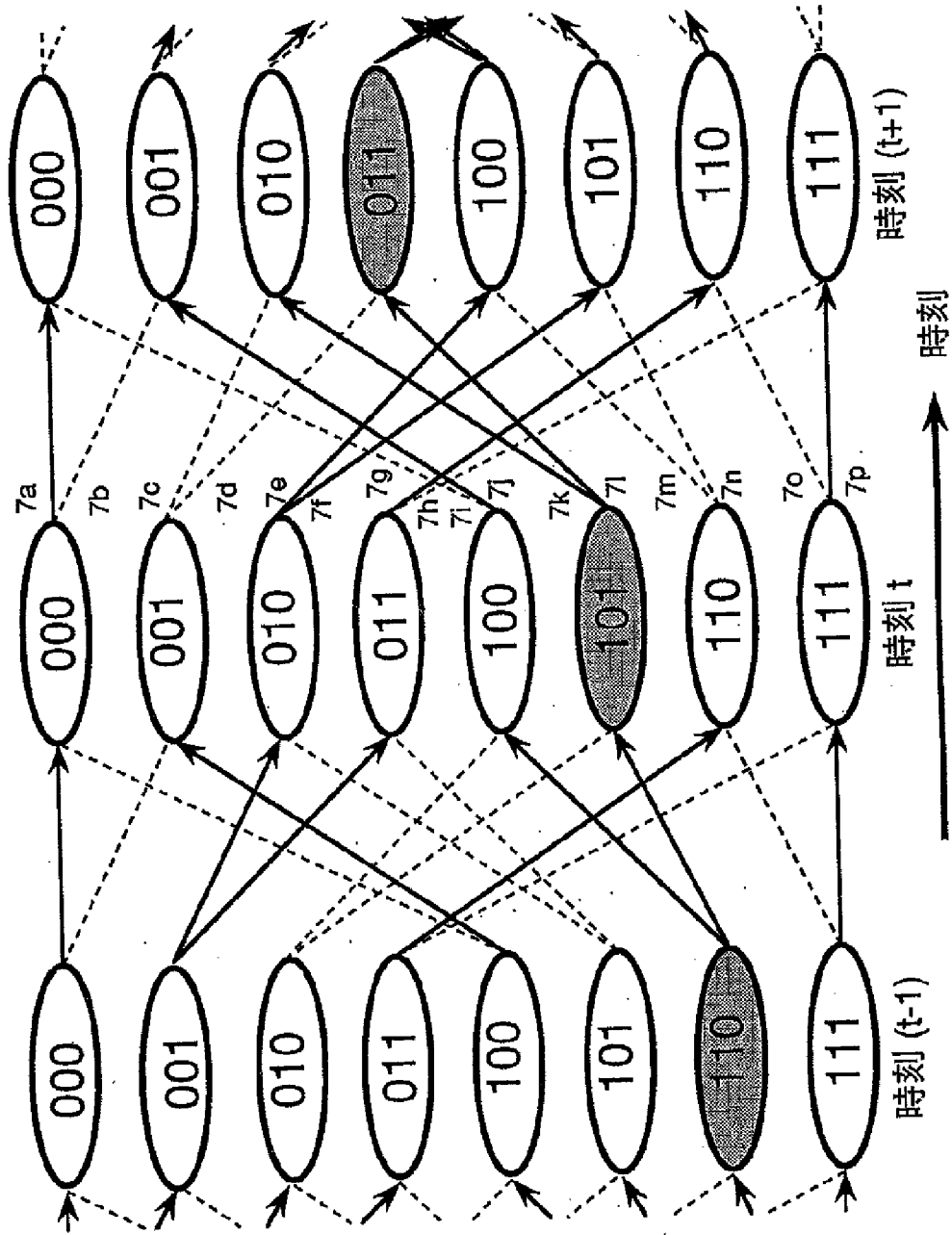
【図 5】



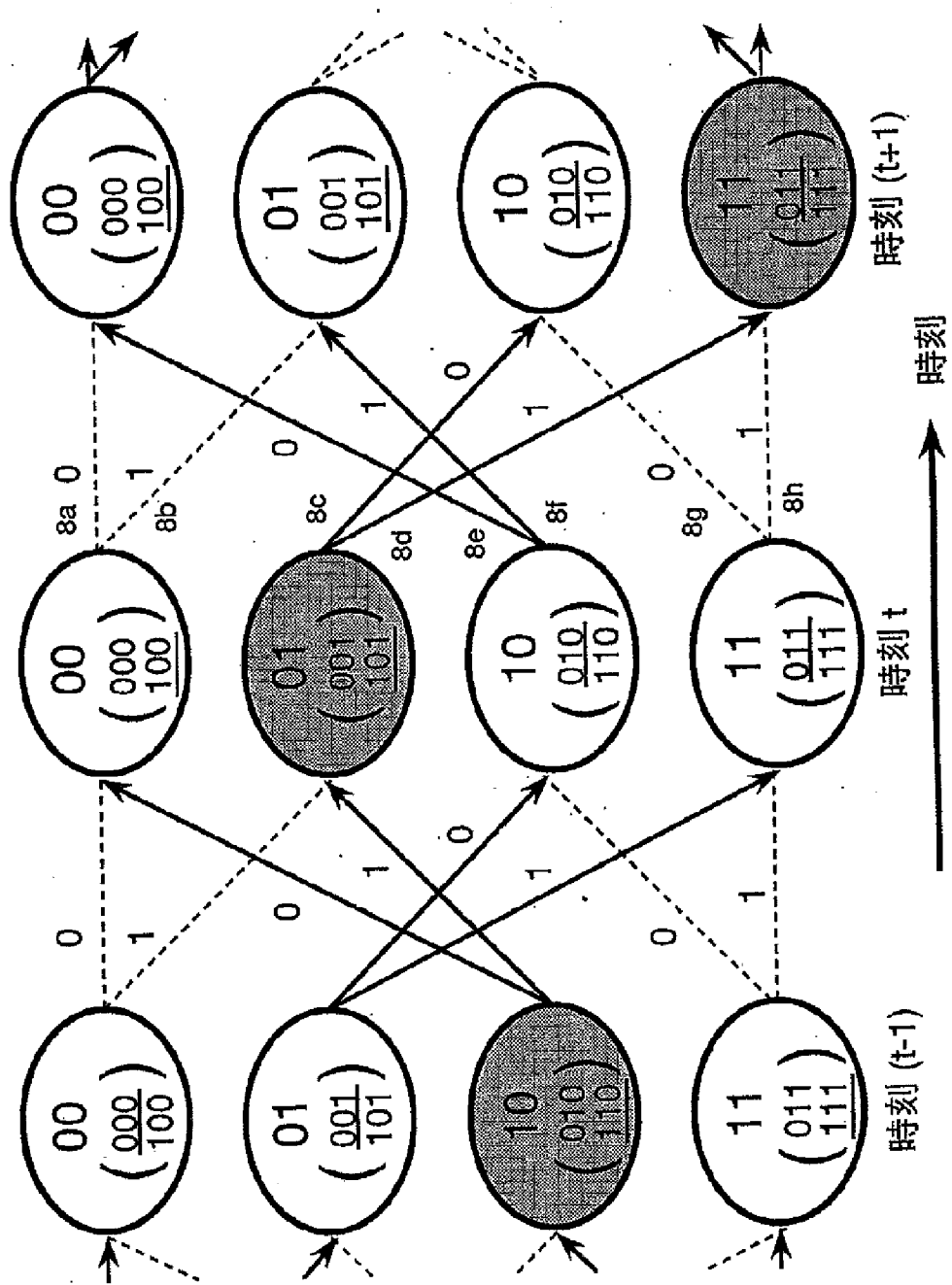
【図 6】



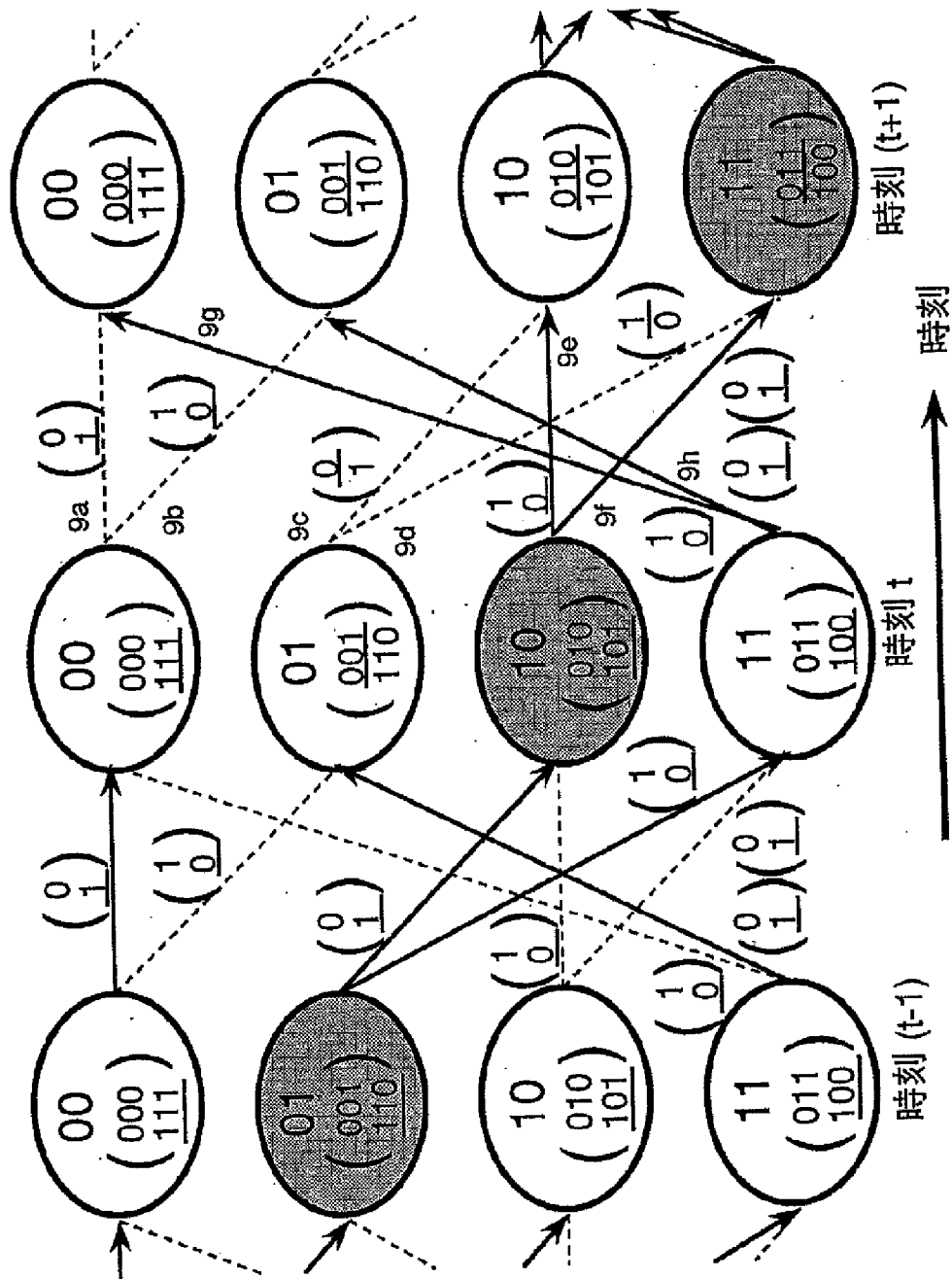
【图 7】



【图8】



【图9】



【図10】

1次単純縮退の状態変換表

前時刻(t-1) 非縮退状態	前時刻(t-1) 1次縮退状態	遷移 シンボル	現時刻(t) 非縮退状態	現時刻(t) 1次縮退状態
000	00	0	000	00
000	00	1	001	01
001	01	0	010	10
001	01	1	011	11
010	10	0	100	00
010	10	1	101	01
011	11	0	110	10
011	11	1	111	11
100	00	0	000	00
100	00	1	001	01
101	01	0	010	10
101	01	1	011	11
110	10	0	100	00
110	10	1	101	01
111	11	0	110	10
111	11	1	111	11

【図16】

状態変換回路209の変換規則例1

変換前非縮退状態	変換後非縮退状態
000	000
001	001
010	010
011	011
100	011
101	010
110	001
111	000

【図11】

1次回転縮退の状態変換表

前時刻(t-1) 非縮退状態	前時刻(t-1) 1次縮退状態	遷移 シンボル	現時刻(t) 非縮退状態	現時刻(t) 1次縮退状態
000	00	0	000	00
000	00	1	001	01
001	01	0	010	10
001	01	1	011	11
010	10	0	100	11
010	10	1	101	10
011	11	0	110	01
011	11	1	111	00
100	11	0	000	00
100	11	1	001	01
101	10	0	010	10
101	10	1	011	11
110	01	0	100	11
110	01	1	101	10
111	00	0	110	01
111	00	1	111	00

【図17】

状態変換回路209の変換規則例2

変換前非縮退状態	変換後非縮退状態
000	111
001	110
010	101
011	100
100	100
101	101
110	110
111	111

図7におけるブランチメトリック計算

枝の 記号	時刻 t の状態	遷移 シンボル	時刻(t+1) の状態	ブランチメトリック
7 a	0 0 0	0	0 0 0	Mt (0,0,0:0)
7 b	0 0 0	1	0 0 1	Mt (0,0,0:1)
7 c	0 0 1	0	0 1 0	Mt (0,0,1:0)
7 d	0 0 1	1	0 1 1	Mt (0,0,1:1)
7 e	0 1 0	0	1 0 0	Mt (0,1,0:0)
7 f	0 1 0	1	1 0 1	Mt (0,1,0:1)
7 g	0 1 1	0	1 1 0	Mt (0,1,1:0)
7 h	0 1 1	1	1 1 1	Mt (0,1,1:1)
7 i	1 0 0	0	0 0 0	Mt (1,0,0:0)
7 j	1 0 0	1	0 0 1	Mt (1,0,0:1)
7 k	1 0 1	0	0 1 0	Mt (1,0,1:0)
7 l	1 0 1	1	0 1 1	Mt (1,0,1:1)
7 m	1 1 0	0	1 0 0	Mt (1,1,0:0)
7 n	1 1 0	1	1 0 1	Mt (1,1,0:1)
7 o	1 1 1	0	1 1 0	Mt (1,1,1:0)
7 p	1 1 1	1	1 1 1	Mt (1,1,1:1)

図8におけるブランチメトリック計算

枝の 記号	時刻 $t$ の 一次縮退状態 (非縮退状態)	遷移 シンボル	時刻 $(t+1)$ の 一次縮退状態 (非縮退状態)	ブランチメトリック
8 a	0 0 (1 0 0)	0	0 0 (0 0 0)	$Mt(1,0,0:0)$
8 b	0 0 (1 0 0)	1	0 1 (0 0 1)	$Mt(1,0,0:1)$
8 c	0 1 (1 0 1)	0	1 0 (0 1 0)	$Mt(1,0,1:0)$
8 d	0 1 (1 0 1)	1	1 1 (0 1 1)	$Mt(1,0,1:1)$
8 e	1 0 (0 1 0)	0	0 0 (1 0 0)	$Mt(0,1,0:0)$
8 f	1 0 (0 1 0)	1	0 1 (1 0 1)	$Mt(0,1,0:1)$
8 g	1 1 (0 1 1)	0	1 0 (1 1 0)	$Mt(0,1,1:0)$
8 h	1 1 (0 1 1)	1	1 1 (1 1 1)	$Mt(0,1,1:1)$

【図14】

図9におけるブランチメトリック計算  
 (図16の変換規則を用いる場合)

枝の 記号	時刻 t の 一次縮退状態 (非縮退状態)	遷移 シンボル	時刻 (t+1) の 一次縮退状態 (非縮退状態)	ブランチメトリック 代替値 (真の値)
g a	0 0 (1 1 1)	1	0 0 (1 1 1)	Mt (0,0,0:0) (Mt (1,1,1:1) )
g b	0 0 (1 1 1)	0	0 1 (1 1 0)	Mt (0,0,0:1) (Mt (1,1,1:0) )
g c	0 1 (0 0 1)	0	1 0 (0 1 0)	Mt (0,0,1:0) (Mt (0,0,1:0) )
g d	0 1 (0 0 1)	1	1 1 (0 1 1)	Mt (0,0,1:1) (Mt (0,0,1:1) )
g e	1 0 (1 0 1)	0	1 0 (0 1 0)	Mt (0,1,0:1) (Mt (1,0,1:0) )
g f	1 0 (1 0 1)	1	1 1 (0 1 1)	Mt (0,1,0:0) (Mt (1,0,1:1) )
g g	1 1 (1 0 0)	0	0 0 (0 0 0)	Mt (0,1,1:1) (Mt (1,0,0:0) )
g h	1 1 (1 0 0)	1	0 1 (0 0 1)	Mt (0,1,1:0) (Mt (1,0,0:1) )

図9におけるブランチメトリック計算  
(図17の変換規則を用いる場合)

枝の 記号	時刻 t の 一次縮退状態 (非縮退状態)	遷移 シンボル	時刻 (t+1) の 一次縮退状態 (非縮退状態)	ブランチメトリック 代替値 (真の値)
9 a	0 0 (1 1 1)	1	0 0 (1 1 1)	Mt (1, 1, 1:1) (Mt (1, 1, 1:1) )
9 b	0 0 (1 1 1)	0	0 1 (1 1 0)	Mt (1, 1, 1:0) (Mt (1, 1, 1:0) )
9 c	0 1 (0 0 1)	0	1 0 (0 1 0)	Mt (1, 1, 0:1) (Mt (0, 0, 1:0) )
9 d	0 1 (0 0 1)	1	1 1 (0 1 1)	Mt (1, 1, 0:0) (Mt (0, 0, 1:1) )
9 e	1 0 (1 0 1)	0	1 0 (0 1 0)	Mt (1, 0, 1:0) (Mt (1, 0, 1:0) )
9 f	1 0 (1 0 1)	1	1 1 (0 1 1)	Mt (1, 0, 1:1) (Mt (1, 0, 1:1) )
9 g	1 1 (1 0 0)	0	0 0 (0 0 0)	Mt (1, 0, 0:0) (Mt (1, 0, 0:0) )
9 h	1 1 (1 0 0)	1	0 1 (0 0 1)	Mt (1, 0, 0:1) (Mt (1, 0, 0:1) )

## 【手続補正書】

【提出日】平成5年5月13日

## 【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】図面の簡単な説明

【補正方法】変更

【補正内容】

【図面の簡単な説明】

【図1】第1の発明に係る系列推定装置の一実施例を示すブロック図

【図2】第2の発明に係る系列推定装置の一実施例を示すブロック図

【図3】従来の系列推定装置を示すブロック図

【図4】縮退を行う前の基本となる状態遷移図の例

【図5】第1の発明の系列推定装置の動作の基となる縮退された状態遷移図の例

【図6】第2の発明の系列推定装置の動作の基となる縮退された状態遷移図の例

【図7】従来の系列推定装置のブランチメトリック計算

を説明するためのトレリス線図

【図8】第1の発明の系列推定装置のブランチメトリック計算を説明するためのトレリス線図

【図9】第2の発明の系列推定装置のブランチメトリック計算を説明するためのトレリス線図

【図10】1次単純縮退の状態変換図表

【図11】1次回転縮退の状態変換図表

【図12】従来の系列推定装置のブランチメトリック計算を説明するための図表

【図13】第1の発明の系列推定装置のブランチメトリック計算を説明するための図表

【図14】第2の発明の系列推定装置のブランチメトリック計算を説明するための図表

【図15】第2の発明の系列推定装置のブランチメトリック計算を説明するための図表

【図16】状態変換回路209の変換規則を説明するための図表である。

【図17】状態変換回路209の変換規則を説明するた

めの図表である。

【符号の説明】

101、201、301	入力端子	105	伝送路応答検査回路
102、202、302	レジスタ	205	伝送路応答変換回路
103、203、303	伝送路応答計算回路	106、206	伝送路応答記憶回路
105、106	マトリクススイッチ	107、207、305	ビタビプロセッサ
104、204、304	ブランチメトリック計算回路	108、208	非縮退状態記憶回路
		209	状態変換回路
		109、210、306	出力端子